

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-168250

(P 2 0 0 1 - 1 6 8 2 5 0 A)

(43) 公開日 平成13年 6 月 22 日 (2001.6.22)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>  
H01L 23/373  
23/14

識別記号

F I  
H01L 23/36  
23/14

テームコード (参考)

M 5F036  
M

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-352123

(22) 出願日 平成11年12月10日 (1999. 12. 10)

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目 5 番33号

(72) 発明者 石井 隆

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

(72) 発明者 仲田 博彦

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目 1 番 1 号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

(74) 代理人 100078994

弁理士 小松 秀岳 (外 2 名)

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体用絶縁基板およびそれを用いた半導体装置並びに該基板の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、セラミックス基材上にアルミニウムまたはアルミニウム合金の板状回路層が形成された基板について、従来のものに比べより大きな放熱能力を持ち、温度サイクル試験等の信頼性試験において格段に優れた性能を有する半導体装置用絶縁基板の提供を目的とする。

【解決手段】 セラミックスからなる絶縁基材の一方または両方の主面上に、A1および/又は、A1との合金化によりその融点を下げる合金成分とを含む接続層と、A1とその合金成分とを含み、接続層よりもA1量の多い回路層とが、順次形成されており、回路層の側面全周の端が、接続層の側面全周の端よりも50μm以上内側になるように配置されているとともに、回路層中には接続層の合金成分が拡散しており、その合金成分の量が、表面に向かって減少している半導体用絶縁基板。

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 セラミックスからなる絶縁基材の一方または両方の主面上に、

Al および／又は、Al との合金化によりその融点を下げる合金成分とを含む接続層と、Al とその合金成分とを含み、接続層よりも Al 量の多い回路層とが、順次形成されており、

回路層の側面全周の端が、接続層の側面全周の端よりも 50  $\mu$ m 以上内側になるように配置されているとともに、

回路層中には接続層の合金成分が拡散しており、その合金成分の量が、表面に向かって減少している半導体用絶縁基板。

【請求項 2】 前記回路層の側面全周に、Al とその合金成分を含むメニスカスが形成されている請求項 1 に記載の半導体装置用絶縁基板。

【請求項 3】 前記絶縁基材の一方の主面上に、前記接続層と回路層が接続され、他方の主面上に、前記接続層を介して冷却構造体が接続されている請求項 1 または 2 に記載の半導体装置用絶縁基板。

【請求項 4】 前記絶縁基材が、窒化アルミニウム、窒化珪素、炭化珪素を主成分としたセラミックスである請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載の半導体装置用絶縁基板。

【請求項 5】 請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載の絶縁基板を用いた半導体装置。

【請求項 6】 セラミックスからなる絶縁基材と、絶縁基材上に形成される接続層と回路層の原料である Al、Al との合金化によりその融点を下げる合金成分を含む金属素材群とを準備する工程と、

絶縁基材の片方または両方の主面上に、金属素材群の内の少なくとも 1 種を含み、接続層を形成する工程と、接続層を構成する金属素材よりも Al 量が多く、主面外寸が接続層のそれよりも全周にわたって 50  $\mu$ m 以上小さい回路層の素材を準備する工程と、

この回路層の素材を接続層上に配置し、非酸化性雰囲気中、接続層を構成する金属の融点以上、回路層の素材の融点以下の温度下で加熱して回路層を形成する工程とを含む半導体用絶縁基板の製造方法。

【請求項 7】 前記接続層を形成する工程は、前記金属素材群の内の少なくとも 1 種を含む第一の接続層と、第一の接続層よりも合金成分の多い第二の接続層とを形成する工程である請求項 6 に記載の半導体装置用絶縁基板の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、セラミックス基材に Al を主体とする導体回路層を実装した半導体用部材およびそれを用いた半導体装置並びに該基板の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来、アルミニウムにより形成された導体回路層（以下単に回路層と言う）をセラミックス基材に接続する方法としては、たとえば特開平 9-234826 に示されるようなアルミニウム溶融体にセラミックス基材を直接接触させ、順次接触部をアルミニウム凝固温度以下にして接続する方法や、特許第 2658435 に示されるような AlN 基板の表面に酸化膜やガラス膜を形成して Al-Si 系ろう材又は Al-Ge 系ろう材を用いて接続する方法、実公平 8-10202 に示されるような AlN 基板の表面を粗面化して Al-Si 系ろう材又は Al-Ge 系ろう材を用いて接続する方法、特開平 9-188573 に示されるようなアルミニウム板を融点付近まで加熱した後、セラミックス基材と圧力をかけて接合する方法等が提案されている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】アルミニウムを融点付近まで溶かしてセラミックス基板に接続する方法では、アルミニウムとセラミックス基材の接続時の熱膨張係数の差が大きく、接続後の残留応力が非常に大きい。このため、熱サイクル試験を施した時にかかる熱応力も大きくなり、少ない回数での割れやクラックが発生しやすくなる。そのため、セラミックス基材にアルミニウムを接続する時の温度は、半導体素子をダイボンディングする温度より高い温度で、出来るだけ低温の方が望ましい。また、アルミニウムが溶融しているため、導体回路層として機能させるための事後の仕上げ工程も必要となる。

【0004】この課題を解決する方法として、純アルミニウムより低融点で半導体素子をダイボンディングする温度より高融点の Al-Si 系ろう材又は Al-Ge 系ろう材を用いて純アルミニウム板を接続する方法が提案されている。この場合、例えば実公平 8-10202 に記載されているように AlN 基材の表面を粗面化するだけでは十分な接続強度が確保されない。そこで十分な接続強度を確保するためには、例えば特許第 2658435 に記載のように AlN 基材の表面に酸化膜（主に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> からなる）やガラス膜を形成する必要がある。この酸化膜やガラス膜は他の構成材料であるアルミニウムや窒化アルミニウムに比べて熱伝導率が低いいため、この膜により基板の放熱能力が低下する問題がある。

【0005】本発明は、かかる従来の事情に鑑み、セラミックス基材上にアルミニウムまたはアルミニウム合金の板状回路層が形成されたこの種の基板について、以上述べた従来のものに比べより大きな放熱能力を持ち、温度サイクル試験等の信頼性試験に於いて格段に優れた性能を有する半導体装置用絶縁基板の提供を目的とする。

## 【0006】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明は下記の構成よりなる。

(1) セラミックスからなる絶縁基材の一方または両方

の主面上に、Al および／又は、Al との合金化によりその融点を下げる合金成分を含む接続層と、Al とその合金成分を含み、接続層よりも Al 量の多い回路層とが、順次形成されており、回路層の側面全周の端が、接続層の側面全周の端よりも 50 μm 以上内側になるように配置されているとともに、回路層中には接続層の合金成分が拡散しており、その合金成分の量が、表面に向かって減少している半導体用絶縁基板。

【0007】(2) 前記回路層の側面全周に、Al とその合金成分を含むメニスカスが形成されている前記

(1) 記載の半導体装置用絶縁基板。

【0008】(3) 前記絶縁基材の一方の主面上に、前記接続層と回路層が接続され、他方の主面上に、前記接続層を介して冷却構造体が接続されている前記(1)又は(2)記載の半導体装置用絶縁基板。

【0009】(4) 前記絶縁基材が、窒化アルミニウム、窒化珪素、炭化珪素を主成分としたセラミックスである前記(1)ないし(3)のいずれかに記載の半導体装置用絶縁基板。

【0010】(5) 前記(1)ないし(4)のいずれかに記載の絶縁基板を用いた半導体装置。

【0011】(6) セラミックスからなる絶縁基材と、絶縁基材上に形成される接続層と回路層の原料である Al、Al との合金化によりその融点を下げる合金成分を含む金属素材群とを準備する工程と、絶縁基材の片方または両方の主面上に、金属素材群の内の少なくとも1種を含み、接続層を形成する工程と、接続層を構成する金属素材よりも Al 量が多く、主面外寸が接続層のそれよりも全周にわたって 50 μm 以上小さい回路層の素材を準備する工程と、この回路層の素材を接続層上に配置し、非酸化性雰囲気中、接続層を構成する金属の融点以上、回路層の素材の融点以下の温度下で加熱して回路層を形成する工程とを含む半導体用絶縁基板の製造方法。

【0012】(7) 前記接続層を形成する工程は、前記金属素材群の内の少なくとも1種を含む第一の接続層と、第一の接続層よりも合金成分の多い第二の接続層とを形成する工程である前記(6)記載の半導体装置用絶縁基板の製造方法。

【0013】本発明の絶縁基板は、半導体チップを搭載する主面側のみか、又はその反対側の主面との両面とも Al 又は Al 合金からなる回路層が形成されている。この回路層と基材との接続強度と回路層自体の電気伝導性を高いレベルにするため、回路層と基材との間には、接続層を介在させる。これらの二層は後述のように真空加熱によって接続されるため、少なくとも接続層中に存在する合金成分はある程度の厚み範囲内で回路層中にも拡散する。したがって本発明の両層間の境目は不明瞭となる。しかしながら通常は上の層となる回路は接続層よりも Al 含有量の多い金属素材によって形成するため、回路層中にはその表面方向に合金成分の濃淡が生じる。つ

まり回路層中では、表面方向に合金成分が減少している。すなわち回路層において、その接続層との境目の方がその表面よりも合金成分が多く成っている。

【0014】例えば、同層の表面では当初の供給素材と同じ純 Al に近い合金成分がより少ない層があり、アルミニウム部分から例えば Mg や Si 等の合金成分が徐々に下に向かって増加していたり、又は急激にある部分から多くなったりする。

【0015】又本発明の回路基板の基材の接続層との境目の酸素量は少ない。その境目から 0.1 mm の範囲内の量は、5 重量%以下、さらには 3 重量%以下とするのが望ましい。

【0016】又本発明の接続層の外周端は、その全周にわたって基材の外周端より内側にある。又回路層の外周端は、その全周にわたって接続層の外周端より内側にある。内側へのそれぞれのズレは、基材と接続層間で基材の主面方向の外寸に対し 100 μm 以上、接続層と回路層間で基材の主面方向の外寸に対し 100 μm 以上とするのが望ましい。このようにすることにより熱サイクルに対する信頼性は、顕著に向上する。

【0017】さらに本発明の基板の回路層の外周端には、下方に向かって裾を広げた形でのメニスカスが形成されているのが望ましい。このメニスカスの厚み方向に対する傾斜度合は、接続条件にもよるが、通常は裾の部分でのその接線方向と基材主面方向との角度が 80° 以下であるのが望ましい。望ましくは 60° 以下である。

【0018】このようなメニスカスが形成されるのは、回路層の下に形成される接続層の表面の酸化皮膜が極めて薄いため、加熱接続時の Al 又は Al 合金の融液が容易に濡れる。又上述のように基材を接続層、接続層と回路層との間の外径寸法に差を持たせ、これらの層形成部分の端が階段上又は連続的に裾を引いた形状となっていることもこれを促す要因の一つである。

【0019】このように Al 又は Al 合金融液の流れた形態の端部が回路層外周に形成されることによって、これと接続層、回路層間の裾を引いた外寸配置との相剝効果により、本発明の基板の熱サイクル負荷への信頼性はより一層高くなっている。(熱応力の緩和) 又半導体 IC からの放熱についても、外周形態によってよりスムーズに行われることも確認された。(下に向かって広がっていること)

【0020】中でもその厚み方向で 1/2 以上の接続層、回路層を形成する材質は Al の純度が高い程望ましい。特に回路層表面部分は、Al が 99.9% 以上であるのが望ましい。これは、回路層上に接続される半導体チップから生じる熱の分散を高め、同チップの昇温による出力の低下や誤動作を回避するとともに高い電気伝導性を確保するためである。

【0021】接続層の Al 量についても、同じ理由によって望ましくは 80~99 重量%さらに望ましくは 90

重量%以上とする。

【0022】なおこれらの層中に含ませる合金成分としては、MgやSi、Cu等がある。これらの役割は接続層にあっては、主に基材の表面との間ならびに回路層との間の接続強度のレベルアップ、回路層にあっては主に接続層との間の接続強度のレベルアップと、上記のメニスカスの適切な形状形成にある。例えば合金成分のマグネシウムは、真空接合時のアルミニウム板材の表面の強固な酸化膜を分解する効果があり、重量比で1%~20%程度含まれるのが望ましい。なおこのマグネシウムは、400℃前後でアルミニウム板材の表面酸化膜と反応して炉内へ放出され、試料中にはほとんど残らない。

【0023】ただしMgの量が20重量%を越えると、接続時間の加熱によっても接続層中に少量残ったり、接続層がより硬くなるため熱応力緩和効果が下がり易くなる。

【0024】また本発明の基板には、両主面とも以上述べた回路層を接続した構造としてもよいが、放熱容量の大きな半導体装置に実装される場合には、Siチップの搭載される反対側の面に接続層を介して回路層に代えて冷却構造体を接続することができる。

【0025】この冷却構造体は、例えば放熱面積を稼ぐために回路層と同じ素材をフィン状に加工して取り付けたり、又例えばコンパクトなサイズであれば水冷式の高熱伝導性金属からなる水の循環回路でもよいし、熱交換の効率のよいヒートパイプを取りつけてもよい。

【0026】次に、本発明の半導体装置用部材の製造方法を説明する。本発明のセラミックスから成る絶縁基材は、その熱伝導率が30W/mK以上であるのが望ましい。したがって窒化アルミニウム、窒化珪素、炭化珪素、アルミナもしくはベリリアを主成分としたセラミックスを用いるのが望ましい。それらの基材を用意し、まずその主面の一方又は両方に回路層を形成するが、本発明では基材の主面にまずAlを主成分とする層を形成する。この層は、本発明の回路基板では接続層の一部となるが、その通常の形成方法としては、真空蒸着法が代表的な方法である。まず、母材であるセラミックスを蒸着用真空チャンバー内に入れ、蒸着前にチャンバー内を真空排気する。このときの真空の雰囲気圧力は $1.3 \times 10^{-5}$  Pa以下が好ましく、これ以上の圧力であると蒸着中に母材から付着ガスが放出され、形成されるAlの結晶粒径が0.1μm未満にまで小さくなる傾向にある。この厚みは、回路層を接続後の接続層に空洞等の欠陥を作らないためには、0.5~20μmとするのが望ましい。十分なアンカー効果を生み出すためにはその結晶粒径を0.1~10μmの範囲に制御する必要があり、真空度は大きな要因となる。これは基材表面と蒸着された結晶粒子との物理的な絡み合いを適切にし、蒸着層の基材への接続強度を高めるためである。また、母材は蒸着中特に加熱しなくても良いが、加熱しない場合でも蒸着

中に基材の温度が100℃~200℃程度になるのが普通である。なお真空蒸着法以外に、イオンスパッタリング法を用いてもよい。また、有機溶媒中に分散させたAl粉末もしくはAl、Mg混合粉末を、セラミックス基材にスクリーン印刷法により印刷するか又は浸漬により塗布した後、真空もしくは不活性又は還元雰囲気中で焼結することによっても得ることもできる。なおスクリーン印刷法や浸漬塗布による場合にも、被塗布材中のAlを主成分とする金属粒子の平均粒径は、上記と同じ理由で0.1~10μmの範囲とするのが望ましい。

【0027】上記接続層を形成する基材の表面は、その表面粗さをJIS規定の $R_{max}$ で0.1~20μmの範囲にコントロールするのが好ましい。表面粗さが $R_{max}$ で0.1μmより小さいと、十分なアンカー効果を得難くなる。また、 $R_{max}$ が20μmより粗いと吸着ガスが多くなり、薄膜層形成時に余分なガスが放出され $1.3 \times 10^{-5}$  Pa以下の圧力が得られない場合があり、その結果十分なアンカー効果が得られず接続強度が低下し易い。

【0028】本発明の回路基板の接続層は、以上の様な基材上の第一の接続層を形成した後、直接その上に回路層を形成してもよい。この場合第一の接続層が純度の高いAlであれば、この層による熱抵抗が最も小さくなり、その点では望ましい。しかしながら回路層と基材との間の接続後の強度を考えると、それらの間に第二の接続層として予めAlとの合金化により、同層自体の融点を下げる合金成分を含んだ層を介挿するのが望ましい。これによって例えば第一の接続層と回路層が純度の高いAlの場合、回路層接続時の温度が下げられるため、両層への合金成分の拡散が抑えられ、それによる両層の熱伝導性の低下が避けられる。なお、この場合の第二の接続層の厚みは以下に述べる回路層形成（焼成）前の段階で20~100μmとするのが望ましい。厚みが20μm未満では接合に十分な液相が得られ難く接続層中に欠陥が生じ易くなる。また、純アルミニウム板材の端部全周にわたってメニスカスが形成され難いともある。厚みが100μm以上になると、余分な液層が発生し、アルミニウム板材の再加工が必要となる場合がある。

【0029】次に、少なくとも薄膜形成パターンよりも小さい主面外寸形状を持ったAl又はAl合金からなる金属素材、例えばAl-Si-Mg系のろう材を置き、その上に少なくともろう材パターンと同じかそれよりも小さい形状を持った純アルミニウム又はアルミニウム合金の回路層形成用の金属素材、例えば99.9%以上の純度のアルミニウム素材を載せて、回路形成用の素材の融点よりも低く、ろう材の融点よりも高い温度でかつ好ましくは $10^{-5}$  Torr以下の真空度で焼成し接合する。この場合のろう材は熔融して接続層の一部となる。

【0030】薄膜形成パターンよりもろう材や純アルミニウム板材を小さくするのは、接合時の液層によって、

前述のように純アルミニウム板材の端部全周に容易にメニスカスを形成するためである。このメニスカス構造によって、純アルミニウム板材端部の加熱接続後の残留熱応力を大幅に減少させることが出来る。また半導体装置に組み込まれた後の実動時の熱サイクルによる衝撃にも極めて強くなる。

【0031】尚、上記接続加熱の際に、必要により、例えば炭素質、アルミナ質、窒化アルミニウム質等の耐火物を素材とする治具を用いて双方の仮固定を行うとともに、更に必要であれば、両者を積層したセット上に適当な荷重をかけてもよい。

【0032】上記接続において、例えばAl-Si-Mgろう材を用いて接続する代わりに、工程削減のため、純アルミニウムと例えばAl-Si-Mg系のようなAlろう材を圧延したクラッド材（ブレイジングシート）を用いてもよい。また、回路形成用となるAl又はAl合金薄板材と反対側のAl又はAl合金材は、板状であってもよいが、既に述べたようにより放熱効率を向上させるために放熱フィン加工を施してあってもよい。なおこの部分については、前述のようにコンパクトな冷却構造体が配置されれば、いかなるものでも構わない。

#### 【0033】

##### 【実施例】実施例1

主成分粉末として、平均粒径 $1.2\mu\text{m}$ のAlN粉末と平均粒径 $0.6\mu\text{m}$ の $\text{Y}_2\text{O}_3$ 粉及び平均粒径 $0.3\mu\text{m}$ のCaO粉末を、それぞれ97重量%、1.5重量%、及び1.5重量%となるよう秤取し、エタノール溶媒中ボールミルにて24時間均一混合し、焼結助剤が $\text{Y}_2\text{O}_3$ -CaOからなる混合粉末を得た。更に、これらの混合粉末100重量部に対しバインダーとしてPVBを10重量部加え、スラリー化した。このスラリーの一部を噴霧乾燥し、粉末成形プレスにて幅 $63\text{mm}$ ×厚さ： $0.79\text{mm}$ ×長さ： $94\text{mm}$ の大きさに成形した。これらの成形体を、窒素雰囲気中にて $1700^\circ\text{C}$ で5時間、焼結した。この焼結体の相対密度（理論密度を100%としたとき水中法で測定したときの実測密度の比率）は99%であり、表面には実用上問題となるような空孔等の欠陥は無かった。またレーザーフラッシュ法で測定した熱伝導率は150ないし $160\text{W/mK}$ であった。

【0034】以上の手順を経て得られたAlN焼結体を、長さ $75\text{mm}$ 、幅 $50\text{mm}$ 、厚み $0.635\text{mm}$ の

基材に仕上げ加工した。また別途 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiC}$ を主成分とするセラミックス素材から、同じ形状の基材を切り出した。なお $\text{SiC}$ を主成分とする基材については、その全表面を電氣的に絶縁するために、予め窒化層を形成した。これらの基材の熱伝導率は、それぞれ順に $\text{W/m}\cdot\text{K}$ 単位で100および200であった。

【0035】これらの基材上に、表1に記載の素材の組合せおよび形成条件にて、まずAlを主成分とする接続層を形成した。以降各試料とも30個ずつ作製した。

【0036】表中基材欄の $R_{\text{max}}$ は、基材の主面のJISに基づく表面粗さである。接続層1（第一の接続層）および接続層2（第二の接続層）の形成層の材質の内、99.9Alは、Alを99.9重量%含む純Al材からなる箔、M5は、Mgを5重量%含む残部Alからなる箔、M5S10は、Mgを5重量%、Siを10重量%含む、残部Alからなる箔である。M5+M5S10は、M5の箔とM5S10の箔とを圧着一体化したろう材（ブレイジングシート）である。同様にM0.5, M1, S10等のMおよびSは、合金成分がMgおよびSiであり、その後の数値はそれらの含有量（重量%）を示す。 $\Delta L$ は、接続層の主面が基材のそれよりどれだけ小さいか、その寸法差を示す。例えば試料1では、基材主面の長さ方向の寸法が、 $75\text{mm}$ であるから、その接続層1と2の同じ方向は、それより $500\mu\text{m}$ （ $0.5\text{mm}$ ）短い $74.5\text{mm}$ である。接続層の形成温度は、蒸発源の温度ではなく、蒸着される基材表面の温度である。形成の圧力は、形成チャンバー内の真空雰囲気圧力である。形成膜厚は、基材表面に析出堆積した層の厚みであり、結晶粒径は、その層内のAlを主成分とする結晶の平均粒径である（試料毎に各3個の試片の表面を走査型電子顕微鏡で観察）。

【0037】試料23は、第一・第二の接続層を表に付記した条件にて、試料1と同じ材質のアルミニウムペーストを積層印刷塗布し、焼き付けたものである。試料24の $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{SiC}$ はそれぞれの基材が、前記の $\text{Si}_3\text{N}_4$ および $\text{SiC}$ セラミックスであることを示す。試料26は、試料1と同じAlN基材の主面を予め苛性ソーダに浸漬して、厚み $10\mu\text{m}$ アルミナの層を形成したものである。

#### 【0038】

##### 【表1】

表 1

No	基 材	Rmax ( $\mu\text{m}$ )	接 続 層 1 の 形 成						接 続 層 2 の 形 成 (形成パターンは層1に同じ)				
			材 質	$\Delta L$ ( $\mu\text{m}$ )	温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	圧 力 (Pa) ( $\times 10^{-1}$ )	形成膜厚 ( $\mu\text{m}$ )	結晶粒径 ( $\mu\text{m}$ )	材 質	温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	形成膜厚 ( $\mu\text{m}$ )	結晶粒径 ( $\mu\text{m}$ )	
1	AlN	8	99.9Al	500	150	4	0.4	5	—	—	—	—	
2	AlN	8	99.9Al	500	150	4	0.5	5	—	—	—	—	
3	AlN	8	99.9Al	500	150	4	1	5	—	—	—	—	
4	AlN	8	99.9Al	500	150	4	10	5	—	—	—	—	
5	AlN	8	99.9Al	500	150	4	20	5	—	—	—	—	
6	AlN	8	99.9Al	500	150	4	23	5	—	—	—	—	
7	←		試料4に同じ						→	M5+M5S10	150	18	7
8	←		試料4に同じ						→	M5+M5S10	150	20	7
9	←		試料4に同じ						→	M5+M5S10	150	50	7
10	←		試料4に同じ						→	M5+M5S10	150	100	7
11	←		試料4に同じ						→	M5+M5S10	150	110	7
12	←		試料4に同じ						→	M0.5	150	50	7
13	←		試料4に同じ						→	M1	150	50	7
14	←		試料4に同じ						→	M10	150	50	7
15	←		試料4に同じ						→	M20	150	50	7
16	←		試料4に同じ						→	M25	150	50	7

【0039】

20 【表2】

表 1 (続き)

No	基 材	Rmax ( $\mu\text{m}$ )	接 続 層 1 の 形 成						接 続 層 2 の 形 成 (形成パターンは層1に同じ)			
			材 質	$\Delta L$ ( $\mu\text{m}$ )	温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	圧 力 (Pa) ( $\times 10^{-3}$ )	形成膜厚 ( $\mu\text{m}$ )	結晶粒径 ( $\mu\text{m}$ )	材 質	温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ )	形成膜厚 ( $\mu\text{m}$ )	結晶粒径 ( $\mu\text{m}$ )
17	AlN	0.05	←	試料4に同じ					→	←	試料9に同じ	→
18	AlN	0.1	←	試料4に同じ					→	←	試料9に同じ	→
19	AlN	20	←	試料4に同じ					→	←	試料9に同じ	→
20	AlN	22	←	試料4に同じ					→	←	試料9に同じ	→
21	AlN	8	99.9Al	500	150	40	10	12		←	試料9に同じ	→
22	AlN	8	99.9Al	500	150	0.4	10	0.05		←	試料9に同じ	→
23	AlN	8	99.9Al	500	150	4	10	5		←	試料9に同じ	→
層1は平均粒径10 $\mu\text{m}$ の99.9Alのペーストを15 $\mu\text{m}$ 印刷、層2は平均粒径10 $\mu\text{m}$ の上記材質のAlペーストを50 $\mu\text{m}$ 印刷。 以上接層後真空中650 $^{\circ}\text{C}$ で焼き付け。												
24	SiN	←	試料4に同じ						→	←	試料9に同じ	→
25	SiC	←	試料4に同じ						→	←	試料9に同じ	→
*26	表面酸化 AlN	8	接続層1は形成せず							←	試料9に同じ	→
*27	AlN	8	接続層1は形成せず							←	試料9に同じ	→
28	AlN	8	M5	←	試料4に同じ				→	←	試料9に同じ	→
29	AlN	8	S10	←	試料4に同じ				→	←	試料9に同じ	→

\* は比較例 (試料26と27)

【0040】 試料27は、接続層1を付与せず、基材上に直接接続層2を付与したもの、試料28は、接続層1にMgを5重量%、残部Alの組成の合金を、試料29は、Siを10重量%、残部Alの組成の合金をそれぞれ試料4と同じ条件で真空蒸着し、その後試料9と同じ接続層を付与したものである。

【0041】 次いで試料1から29の各種接続層を形成した試片の第二の接続層の主面上に、導体回路層(回路層)を形成した。まず第二の接続層の主面に比べ長手・幅両方向とも500 $\mu\text{m}$ (0.5mm)短く、純度が950

9.9%、厚み400 $\mu\text{m}$ (0.4mm)の純Alの箔を用意した。これを各試料の第二の接続層の上に載せ、 $1.4 \times 10^{-3}$  Paの真空中、試料1～6については650 $^{\circ}\text{C}$ 、試料7以降については600 $^{\circ}\text{C}$ にて30分加熱して、回路層を形成した。予め回路層の金属箔の主面外周サイズと接続層のそれとの寸法差は、長手方向・幅方向ともそれらの両端でそれぞれ250 $\mu\text{m}$ (0.25mm)ずつほぼ均等に配分されるように配置し(つまり長手方向・幅方向とも外周全長で接続層のそれに対し500 $\mu\text{m}$ 小さいサイズ)、上部から位置決め治具を兼ねた

グラファイトのブロックにて、 $50\text{ g/cm}^2$ の荷重をかけ、回路層の位置ずれを防止した。その結果当初配置位置に対し、長手方向・幅方向ともずれは無かった。また回路層の厚みは、当初と変わらなかった。

【0042】接続後の各試料は、回路層から接続層の外周に至るメニスカスの裾の部分の接続層主面に対する角度を測った。各試料とも5個の平均を採った。その結果試料26、27は、ほぼ $90^\circ$ 、試料11では $70^\circ$ であり、それ以外の試料では $50\sim 60^\circ$ であった。次いで回路層および接続層の露出面全面に、無電解めっき法により厚み $2\mu\text{m}$ ニッケル(Ni)めっき層を形成した。

【0043】このアセンブリーにて各試料の回路層主面と基材との接続状況を超音波探傷した(全数)。その際試料の回路層側からその全面にわたって探触子を走査し、基材との界面からのエコーの強さの分布を画像処理し、標準試片のそれと比較することによって、健全な接続面積の割合を確認した(表2の接続面積率の値、各試料とも30個の平均)。なお試料1と6の接続層1の上に試料7と同じ接続層2を積層し、上記と同じ回路層を接続したところ、これらの試料の接続面積率は95%程度であった。

【0044】さらに各試料から3個ずつ抜き取り、アセンブリーの基材から回路層に至る断面を研磨し、1000倍の走査型電子顕微鏡によって、同部分の欠陥の有無を確認した。また、合金成分及び酸素の分布状態を質量分析法による元素分析およびTEM像の観察によって確認した。以上の結果は下記のとおりであった。

【0045】(1) 接続層1を形成しなかった試料27では、各接続界面に微細なピンホールがみられたが、基

材に酸化層を形成した試料26も含め、それ以外の試料には、クラックやピンホール等の欠陥は、確認されなかった。

【0046】(2) 試料26では接続層1と基材との界面付近に多量の酸素が確認されたが、本発明の試料では、ほとんど確認されなかった。

【0047】(3) 接続層が二層形成された試料では、回路層が加熱接続されると、接続層1に接続層2の合金成分であるSiが拡散していた。なお接続層のMg成分は、接続時に揮散し、ほとんど確認されなかった。またこの成分は、接続層2から回路層にも拡散していたが、回路層の表面に向かって漸減しており、それらが拡散した厚みは最大で回路層の厚みの $1/2$ 未満であった。

【0048】その後回路層の主面にPb-Sn系共晶半田にて、長さ・幅とも $1\text{ mm}$ で、厚みが $0.3\text{ mm}$ のシリコン(Si)半導体チップをダイボンディングし半導体装置を作製した。この状態で各試料とも10台ずつ用意して、冷熱サイクル試験を行った。それらの結果を表2の該当欄に示す。なお冷熱サイクル試験は、 $-55^\circ\text{C}$ で30分保持後 $125^\circ\text{C}$ で30分保持する温度サイクルを1サイクルとし、試料に損傷が生じるまでこれを繰り返す手順にて3500回まで行った。なお表2の冷熱サイクル欄に記載の損傷の生じたサイクル数は、各試料とも10台の内の最短回数ものの回数値とした。なお「 $>3500$ 」と記載のものは、3500回まで問題のなかったものである。接続面積率と冷熱サイクルの結果ならびにその結果からの判明点について表2にまとめた。

【0049】

【表3】



表 2

No.	接続面積率 (%)	冷熱サイクル	判 明 点
1	90	3200	接続層に欠陥を生成させないためには、接続層 1 の形成膜厚を 0.5~20 $\mu$ m の範囲にするのが望ましい。
2	100	>3500	
3	100	>3500	
4	100	>3500	
5	100	>3500	
6	90	3200	
7	90	3300	接続層に欠陥を生成させないためには、接続層 2 の形成膜厚を 20~100 $\mu$ m の範囲にするのが望ましい。
8	100	>3500	
9	100	>3500	
10	100	>3500	
11	90	3200	
12	80	2600	接続層に用いる合金成分 $\mu$ g の量は 1~20 重量% の範囲にするのが望ましい。特に下限未満になると接続時の脱炭素効果低下により接続層に欠陥が生じ易い。一方上限を越えると熱応力緩和能力が下がる。
13	100	>3500	
14	100	>3500	
15	100	>3500	
16	100	2900	
17	85	3100	基材の表面粗さ $R_{max}$ は 0.1 から 20 $\mu$ m とするのが望ましい。
18	100	>3500	
19	100	>3500	
20	90	3300	
21	80	3000	真空雰囲気圧力を調節することにより接続層 1 の結晶平均粒径をコントロールできる。0.1~10 $\mu$ m が望ましい。
22	85	3200	
23	100	>3500	接続層はペースト印刷法でも形成可能
24	100	>3500	基材は $Si_3N_4$ , $SiC$ でも実用可能
25	100	>3500	
*26	100	2000	接続層 1 が無いため、外周に充分なメニスカスの裾が形成されないため熱応力の緩和効果が小さくなっている。
*27	100	2000	
28	100	>3500	接続層 1 に合金成分を含む層を形成しても接合は健全である。
29	100	>3500	

\* 印は比較例

## 【0050】実施例 2

実施例 1 の試料 4、9 および 24 と同じ基材を用い、その上下両主面とも実施例 1 と同様の構成の接続層を形成した（それぞれの接続層 1 と 2 の形成方法は、実施例 1 に示した手順と同じ）。

【0051】又別途実施例 1 と同じサイズの回路層形成用の Al 金属箔と、同じ材質のフィンとベース板を冷却構造体として準備した。これらを接続層を形成した一方の主面側には、実施例 1 と同様にして回路層と Si 半導体チップを接続し、他方の主面側には冷却構造体を接続した。このようなフィン又はベース板付きの半導体装置をそれぞれの基材試料毎に 10 台ずつ作製した。その断面構造を図 1 (イ) (ロ) に模式的に示す。(イ) はフィン付の例で、(ロ) はベース板付の例である。

【0052】図 1 で 1 はセラミックス絶縁基材、2 は接続層、3 は回路層、4 は Si 半導体チップ、5 は冷却構造体である。

【0053】なお、同図 (イ)、(ロ) において、2 つの接続層の断面の外側形状とし、基材主面と同層との間で形成されるメニスカスの角度を 80° 以下に制御するため、図に記載されたように接続層の中間に純アルミニ

ウム (Al) の層を残すようにした。具体的には純 Al のシートの両側に、融点が純 Al よりも低い Al-Si-Mg 系合金（試料 4 の接続層 2 に同じ）からなるシートを圧延接着したブレー징ングシートロウ材を使い、これを基材と冷却構造体の間に挟んで、Al-Si-Mg 系ロウ材の融点と純 Al との融点の間の温度に加熱して、これらを接続した。その結果図に示すように、基材と冷却構造体の間の接続層によって形成されるメニスカスの基材面とのなす角度は、60° 以下となった。なおこの角度を 80° 以下に制御するためには、図 2 に示すように予め冷却構造体の面に堀状の溝 6 を設けてもよいことも確認された。この場合には、溝 6 の外縁は、基板を上面から見た時に上部の回路層の外縁よりも内側に入るようにする。またこの溝は、熔融したロウ材が冷却構造体の面上に広がらないようにして、上記同様基材とのメニスカス角度を制御する働きをする。したがって、形成する溝の容量は、適正に制御する必要がある。

【0054】冷却構造体の絶縁基板との接続面の外寸は、長さが 80 mm、幅が 60 mm であり、高さの外寸はいずれの冷却構造体も 23 mm とした。

【0055】フィン形状のものは、図 1 の t が 3 mm、



Tが20mm、フィンの部分の配置ピッチ1, 1'は、いずれも2.5mmとした。

【0056】その後図示しないが、このアセンブリーをハウジングし冷却構造体側に水冷ジャケットを取付けたパワーモジュールを作製して、12時間実動させ、その際のSi半導体チップの表面温度を同チップに熱電対を接触させて比較した。なお室温は25℃である。その結果表3の結果を得た。(10台での平均)

【0057】

【表4】

表 3

基 材 番 号	表 面 温 度 (℃)	
	フィン形状冷却構造体の場合	板状冷却構造体の場合
4	120	125
9	123	128
24	125	130

【0058】なお以上のアセンブリーを実施例1と同じヒートサイクル試験をかけたところ、いずれも3500

回のサイクル負荷後の損傷は確認されなかった。

【0059】以上の様に本発明の接続層構成によってSi半導体チップの実装と同時に絶縁基板の他方の面にAlを主成分とする冷却構造体を高い信頼性で装着することができることが分かった。

【0060】

【発明の効果】以上詳述したように、本発明の接続構造によって過酷なパワーモジュールの実動条件下においても、従来になく高い寿命信頼性のセラミックス絶縁基板を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

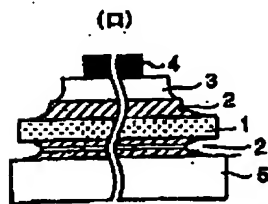
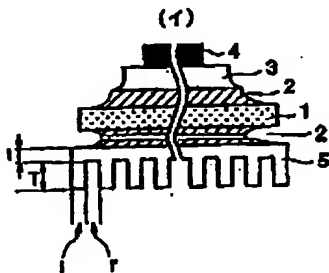
【図1】半導体装置の模式図で、(イ)はフィン付の例で、(ロ)はベース板付の例である。

【図2】図1のものに溝を設けた例である。

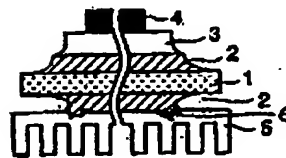
【符号の説明】

- 1 セラミックス絶縁基板
- 2 接続層
- 3 回路層
- 4 Si半導体チップ
- 5 冷却構造体
- 6 溝

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 桧垣 賢次郎

兵庫県伊丹市昆陽北一丁目1番1号 住友

電気工業株式会社伊丹製作所内

Fターム(参考) 5F036 AA01 BC06 BD03 BD14